

## ⑫ 公開特許公報(A) 平4-97139

⑤ Int. Cl.<sup>5</sup>G 02 F 1/37  
G 02 B 6/12

識別記号

H

庁内整理番号

7246-2K  
7036-2K

⑬ 公開 平成4年(1992)3月30日

審査請求 未請求 請求項の数 2 (全5頁)

⑭ 発明の名称 光波長変換素子

⑯ 特 願 平2-211345

⑰ 出 願 平2(1990)8月9日

⑱ 発 明 者 森 孝 二 東京都大田区中馬込1丁目3番6号 株式会社リコー内  
 ⑲ 発 明 者 宮 崎 保 光 愛知県名古屋市南区柏島町2-1 柏島住宅3-503  
 ⑳ 出 願 人 株 式 会 社 リ コ ー 東京都大田区中馬込1丁目3番6号  
 ㉑ 代 理 人 弁 理 士 柏 木 明

## 明 細 書

1. 発明の名称 光波長変換素子

## 2. 特許請求の範囲

1. 非線形光学効果を有する光導波路を用いた光波長変換素子において、 $\text{LiTa}_{1-x}\text{Nb}_{1-x}\text{O}_3$ 単結晶基板(但し、 $0 \leq x \leq 1$ )上に薄膜状導波層を積層形成した2層構造とし、各々の入射光の周波数 $\omega$ での常光屈折率を $n_o^\omega$ (基板)、 $n_o^\omega$ (導波層)とし、出射光の周波数 $2\omega$ での異常光屈折率を $n_e^{2\omega}$ (基板)、 $n_e^{2\omega}$ (導波層)としたとき、

$n_o^\omega$ (基板)、 $n_e^{2\omega}$ (基板)  $<$   $n_o^{2\omega}$ (導波層)  $\leq$   $n_e^\omega$ (導波層)なる条件を満たすように形成したことを特徴とする光波長変換素子。

2. 薄膜状導波層を、 $\text{LiTa}_{1-x}\text{Nb}_{1-x}\text{O}_3$ 単結晶を母材としてBe, Na, Mg, Ni, Ti, V, Nd, Cr, K, Ca, Rb, Sr, Ce,

Baの元素の内の少なくとも一つの元素をドーブして形成したことを特徴とする請求項1記載の光波長変換素子。

## 3. 発明の詳細な説明

## 産業上の利用分野

本発明は、光ディスクメモリ等に第2高調波発生素子として用いられる光波長変換素子に関する従来技術

第2高調波発生(SHG=セカンド・ハーモニック・ジェネレーション)素子とは、非線形光学効果を有する光学結晶材料の非線形光学効果を利用して、波長 $\lambda$ のレーザ光を $\lambda/2$ の波長光に変換する素子である。よって、出射光の波長が入射光の $1/2$ となり、記録密度を4倍にできるため、光ディスクを始めとして、CDプレーヤ、レーザプリンタ、フォトリソグラフィ等に応用されつつある。

ここに、このようなSHG素子として小型、直接変調等の要求に応えるため、半導体レーザが主流となりつつある。このような半導体レーザを光源とする場合、高い変換効率を得る必要上、薄膜導波路構造のSHG素子が用いられる。良質な光導波路を形成できる非線形光学効果を持つ光学結晶材料としては、一般にLiNbO<sub>3</sub>が最も適していると考えられている。しかし、LiNbO<sub>3</sub>単結晶では、0.82~0.84μmなる半導体レーザの光源波長では位相整合（位相整合とは、入射レーザ光の光導波路中での屈折率=実効屈折率と、第2高調波光の実効屈折率とが一致することをいう）が不可能なことが報告されている。これは、LiNbO<sub>3</sub>の場合、入射光の周波数 $\omega$ での常光屈折率 $n_o = 2.253$ 、出射光の周波数 $2\omega$ での異常光屈折率 $n_e^{2\omega} = 2.282$ となり、位相整合のための必要条件（ $n_o = n_e^{2\omega}$ ）を満たさないためである。

をえることができる。光の導波に際しては、z軸（光学軸）に対して位相整合の可能な角度で光を入射させることにより、位相整合条件を満足する状態が存在し、SHGが実現される。ところが、厳しい角度整合精度が要求されるものであり、温度、波長等の変動に対して弱いという欠点がある。

一方、後者の文献方式の場合、MgOドーブのLiNbO<sub>3</sub>層は元々位相整合条件を満たすように作製した導波路であり、SHG特性を有している。ところが、位相整合条件を満足するための膜厚制御とその精度が非常に難しい。よって、前者の場合と同様に、温度、波長等の変動に対して弱いという欠点を持つ。

よって、これらの従来方式による場合、SHG変換効率が各種変動の影響を大きく受けるため、現実には数%程度の変換効率しか持たない不十分なものである。

課題を解決するための手段

このようなことから、例えば特開平2-12135号公報によれば、波長0.82~0.84μmのレーザ光を基本光とし、LiTaO<sub>3</sub>単結晶基板上に3.7~9.0μmのLiNbO<sub>3</sub>導波層を形成した2層構造とし、結晶軸に対し0~35°の角度で入射させることによりSHGの位相整合をとるようにしたものがある。

また、電子情報通信学会 技術研究報告、MW89-44の「LD光源を用いた導波型SHG素子の出力特性」によれば、LiTaO<sub>3</sub>単結晶基板上にLiNbO<sub>3</sub>薄膜を形成し、さらに、その上にMgOドーブのLiNbO<sub>3</sub>層を形成した3層構造とし、基本波長0.83μmの半導体レーザ光をSHG変換するようにしたものが示されている。

発明が解決しようとする課題

前者の公報方式によれば、LiNbO<sub>3</sub>導波層の膜厚を変えることにより導波路の実効的屈折率

非線形光学効果を有する光導波路を用いた光波長変換素子において、LiTa<sub>x</sub>Nb<sub>1-x</sub>O<sub>3</sub>単結晶基板（但し、0 ≤ x ≤ 1）上に薄膜状導波層を積層形成した2層構造とし、各々の入射光の周波数 $\omega$ での常光屈折率を $n_o$ （基板）、 $n_o$ （導波層）とし、出射光の周波数 $2\omega$ での異常光屈折率を $n_e^{2\omega}$ （基板）、 $n_e^{2\omega}$ （導波層）としたとき、 $n_o$ （基板）、 $n_e^{2\omega}$ （基板） <  $n_e^{2\omega}$ （導波層） ≤  $n_o$ （導波層）なる条件を満たすように形成した。

さらには、薄膜状導波層を、LiTa<sub>x</sub>Nb<sub>1-x</sub>O<sub>3</sub>単結晶を母材としてBe, Na, Mg, Ni, Ti, V, Nd, Cr, K, Ca, Rb, Sr, Ce, Baの元素の内の少なくとも一つの元素をドーブして形成した。

作用

LiTa<sub>x</sub>Nb<sub>1-x</sub>O<sub>3</sub>単結晶基板と薄膜状導波層との2層構造において、各々の層の入射光の周波数 $\omega$ での常光屈折率と出射光の周波数 $2\omega$ での

異常光屈折率とが所定の関係式を満足すると、第2高調波発生のための位相整合条件を満たす。このような条件を満たすように薄膜状導波層の屈折率を制御することはイオン注入法等により容易である。よって、作製容易にして高変換効率を持つ温度等の変動に強い高信頼性の第2高調波発生素子が実現でき、波長0.8 $\mu\text{m}$ 程度なる半導体レーザでの角度整合等の不要な直接的な第2高調波発生が可能となる。

特に、請求項2記載の任意の元素をドーブして薄膜状導波層を形成することにより、薄膜状導波層の膜厚方向の屈折率分布が第2高調波発生のための位相整合条件を満たすことが容易に実現できる。

#### 実施例

本発明の一実施例を図面に基づいて説明する。本実施例の光波長変換素子1は、基本的には、第1図(a)に示すようにLiTa<sub>x</sub>Nb<sub>1-x</sub>O<sub>3</sub>、単結

晶基板2上に、同じくLiTa<sub>x</sub>Nb<sub>1-x</sub>O<sub>3</sub>、単結晶を母材として所定の元素をドーブした薄膜状導波層3を積層形成した2層構造からなる。このような薄膜状導波層3に周波数 $\omega$ の基本波を入射させたときの常光の屈折率 $n_o^\omega$ とSHGによって出てくる周波数 $2\omega$ の異常光の屈折率 $n_e^{2\omega}$ とが、導波層3において

$$n_e^{2\omega} \leq n_o^\omega \quad \dots\dots\dots (1)$$

なる関係を有することが、この導波層3に求められる位相整合条件である。

ここに、入射光がTMモード、出射光(SHG光)がTEモードの時、LiTa<sub>x</sub>Nb<sub>1-x</sub>O<sub>3</sub>、単結晶基板2上に薄膜状導波層3を設けた場合、モード分散曲線は第2図に示すような特性を持つ。SHGが効率よく行われ、かつ、その温度特性、入射光の波長変動に対してSHG出力が安定であるためには、第2図に示す特性において、屈折率 $n_o^\omega$ と $n_e^{2\omega}$ とが導波層3の厚さ全体に渡って近

法によれば、種々の屈折率分布を所定の深さに制御性よく形成できる点で有望といえる。何れにしても、このような方法により導波層3の膜厚方向の屈折率分布をコントロールすることにより、第2図の特性中に示す両者の重なりA部分を広くとることが可能となる。

ところで、このような基本構成に基づく実際のSHG素子1は例えば第3図に示すように構成すればよい。これは、光の利用効率を向上させるためにリッジ型導波路構造としたものである。

また、導波層3における不純物となるドーブ元素としては、Mg, K, Na或いはBe, Ge, V、さらには、Ni, Ti, Nd, Cr, Ca, Rb, Sr, Ce, Baなどのように、下地となる単結晶基板2に対して第2図に示したような分布特性を持ち得るものであれば何んでもよい。

次に、第3図に示すようなSHG素子1の具体的な作製方法を第4図を照して説明する。

接しており(重なり部分A)、かつ、導波層3の厚さtが厚くなるにしたがって上記(1)式の条件を満たさなければならない。いま、厚さ $t=0\mu\text{m}$ のとき(即ち、導波層3が存在せず、基板1だけのとき)、このLiTa<sub>x</sub>Nb<sub>1-x</sub>O<sub>3</sub>、単結晶基板2そのものの屈折率においては、 $n_e^{2\omega} > n_o^\omega$ が一般に成立しているの、(1)式の条件が満たされることが $n_e^{2\omega} = n_o^\omega$ なるSHGのための位相整合条件のための条件となる。

このような条件を満たすように、単結晶基板2に対して薄膜状導波層3の屈折率を制御することは容易であり、例えば第1図(b)に示すような屈折率分布、又は、同図(c)に示すような屈折率分布を持たせることにより実現できる。即ち、このような膜厚方向に屈折率分布を持たせる方法としては、スパッタリング法、LPE法、イオン注入法等が知られており、屈折率変化 $\Delta n$ で0.001のオーダーで制御可能である。特に、イオン注入

## 具体例1

まず、第4図(a)に示すように、xカットで厚さが0.5mmの $\text{LiTa}_{1-x}\text{Nb}_x\text{O}_3$ 、単結晶基板2上にイオン注入で $\text{Mg}^{2+}$ をドーズ量 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-2}$ 、30KeVのエネルギーで表面から0.5 $\mu\text{m}$ に平均飛程をもつように打ち込み、薄膜状導波層3を形成する。ついで、表面損傷に対してアニール(500℃、30分、Ar中)を施し、導波層損失を低減させる。そして、同図(b)に示すように、OFPR800なるレジスト4でリッジ部3aをカバーし、Arイオンによるイオンビームエッチャで表面を2 $\mu\text{m}$ エッチングする。最後に、同図(c)に示すようにレジスト4を除去し、必要に応じて500~1000℃でアニールを施す。

## 具体例2

$\text{LiTa}_{1-x}\text{Nb}_x\text{O}_3$ 、単結晶基板2上にMg等の金属を膜厚約1000Åに蒸着する。次に、リッジ構造とするために幅100 $\mu\text{m}$ だけMg等の金

めの位相制御条件を満たすように形成したので、作製容易な2層構造にして高変換効率を持つ信頼性の高い第2高調波発生素子が実現でき、波長0.8 $\mu\text{m}$ 程度なる半導体レーザでの直接的な第2高調波発生も可能となり、特に、請求項2記載の任意の元素をドーピングして薄膜状導波層を形成するようにしたので、薄膜状導波層の膜厚方向の屈折率分布が第2高調波発生のための位相整合条件を満たすように形成することを容易に実現できるものである。

## 4. 図面の簡単な説明

図面は本発明の一実施例を示すもので、第1図は基本構造と屈折率分布との関係を示す説明図、第2図は導波層の膜厚と実効屈折率との関係を示す特性図、第3図は具体的なSHG素子構成例を示す斜視図、第4図はその作製工程を示す工程図である。

金属膜をエッチングによりストライプ状に残す。具体的には、RIEでSiCl<sub>4</sub>、10sccmで所定形状に金属膜をエッチングした。その後、1000℃、30分、N<sub>2</sub>中でアニールすることで、金属膜を $\text{LiTa}_{1-x}\text{Nb}_x\text{O}_3$ 、単結晶基板2中に拡散させた。

何れの具体例も、導波層3の実効屈折率がSHG条件を満たし、GaAlAs系の半導体レーザの波長である $\lambda = 0.7 \sim 0.9 \mu\text{m}$ に対してSHGが可能となり、従来にない10~数十%の高効率の青色発光素子が実現できたものである。

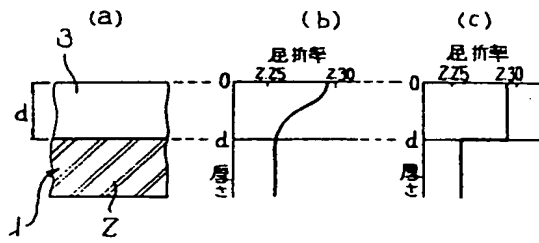
## 発明の効果

本発明は、上述したように、 $\text{LiTa}_{1-x}\text{Nb}_x\text{O}_3$ 、単結晶基板と薄膜状導波層との2層構造において、各々の層、特に薄膜状導波層の入射光の周波数 $\omega$ での常光屈折率と出射光の周波数 $2\omega$ での異常光屈折率とがイオン注入法等の屈折率制御により所定の関係式を満足し、第2高調波発生のため

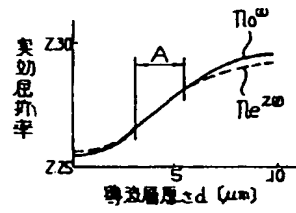
2... $\text{LiTa}_{1-x}\text{Nb}_x\text{O}_3$ 、単結晶基板、3...薄膜状導波層

出 願 人 株式会社 リ コ ー  
代 理 人 柏 木 明

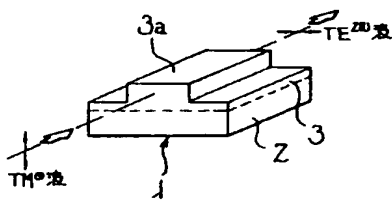
第 1 図



第 2 図



第 3 図



第 4 図

